

⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 196 29 260 C 1

⑤① Int. Cl.<sup>8</sup>:  
**G 01 C 19/72**  
G 02 F 1/035

⑳ Aktenzeichen: 196 29 260.3-52  
㉑ Anmeldetag: 19. 7. 96  
㉒ Offenlegungstag: —  
㉓ Veröffentlichungstag:  
der Patenterteilung: 26. 2. 98

DE 196 29 260 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:

Litef GmbH, 79115 Freiburg, DE

⑦④ Vertreter:

Patentanwälte MÜLLER & HOFFMANN, 81667  
München

⑦② Erfinder:

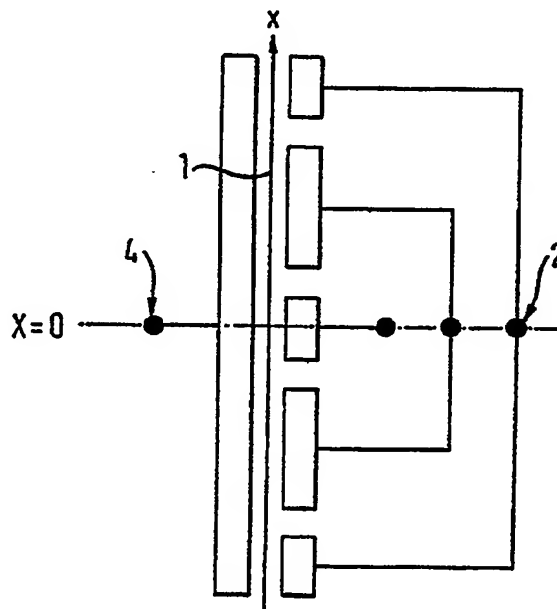
Spahlinger, Günter, Dr., 70188 Stuttgart, DE; Ner,  
Manjeet S., 79276 Reute, DE

⑤⑤ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

US	54 00 142
US	52 37 629
US	51 37 359
EP	05 51 537 A1
EP	04 98 902 A1

⑤④ Elektrooptischer Phasenmodulator mit richtungsunabhängiger Impulsantwort, Anordnung von elektrooptischen Phasenmodulatoren und Verwendung eines elektrooptischen Phasenmodulators

⑤⑦ Ein erfindungsgemäßer elektrooptischer Phasenmodulator insbesondere zur Verwendung in einem faseroptischen Kreisel (FOG) ist, sofern die Umlaufzeit des Lichts in Übereinstimmung mit dem Arbeitstakt gebracht wird, dadurch ausgezeichnet, daß dieselbe Impulsantwort in beiden Durchlaufrichtungen des Lichts gewährleistet ist. Dies wird dadurch erreicht, daß die Modulationselektroden (13, 14...) in Relation zu einer gemeinsamen Gegenelektrode (12) so angeordnet sind, daß die raumzeitliche Ausbreitung der Potentiale auf den Modulationselektroden und des elektrischen Felds zwischen den Elektroden eine stets symmetrisch verteilte Impulsantwort erzeugen.



DE 196 29 260 C 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen elektrooptischen Phasenmodulator mit integriert optischem Wellenleiter und  
beidseitig in konstantem gegenseitigem Abstand von der optischen Achse entlang des Wellenleiters angeordneten  
5 Modulationselektroden.

Phasenmodulatoren dieser Gattung werden in erster Linie in faseroptischen Sagnac-Interferometern, die das  
eigentliche Drehratenmeßinstrument bei faseroptischen Kreisel (FOGs = Fiber Optic Gyroscopes) bilden,  
oder auch als Kernelement bei anderen interferometrischen Meßeinrichtungen verwendet, etwa bei Mach-  
Zehnder-Interferometern.

Die der Erfindung zugrunde liegende Problematik und Aufgabenstellung sei jedoch im folgenden mit Bezug  
auf einen faseroptischen Kreisel (FOG) erläutert.

Bei faseroptischen Kreiseln moderner Bauart wird häufig ein integriert optischer Chip (IO-Chip) verwendet  
der auf der Eingangsseite in der Regel einen integrierten Polarisator, sodann eine Y-Verzweigung und zwei  
gleichabständig entlang der optischen Achsen nach der Y-Verzweigung in bestimmter Konfiguration angeordnete  
15 Elektroden zweier Phasenmodulatoren aufweist, welche die beiden in die Enden einer Faserspule in  
Gegenrichtung eingestrahlichten Lichtstrahlen in bestimmter, weiter unten näher erläuterten Weise modulieren.  
Verschiedene Ausführungsvarianten solcher Phasenmodulatoren oder digitaler Phasenschieber sind in den  
Druckschriften US 5 137 359, US 5 237 629 und US 5 400 142 beschrieben. Ein FOG mit dieser Art von Phasen-  
modulator weist eine Empfindlichkeit gegenüber in den Phasenmodulator eingestreuten Störsignalen auf.

Die Einkopplung solcher Störsignale in den den Phasenmodulator enthaltenden MIOC-Pfad (MIOC =  
20 Modulierender IO-Chip) läßt sich, wie nachfolgend erläutert, analysieren.

Störsignale, die in den MIOC-Pfad einkoppeln, können unter bestimmten Umständen Bias-Fehler hervorru-  
fen. Im folgenden soll untersucht werden, wie sich periodische Störsignale auswirken, wenn eine Fehlabstim-  
mung des Kreisel-Abtasttakts gegenüber der Durchlaufzeit des Lichts durch die Faser vorliegt. Neben einer  
erhöhten Empfindlichkeit gegenüber derartigen Einkopplungen bewirkt eine Fehlabstimmung noch weitere  
25 Störeffekte, wie beispielsweise erhöhten Random-Walk. Diese Effekte sollen hier jedoch nicht untersucht  
werden. Um dem Leser die Möglichkeit zu geben, sich mit der Funktionsweise von Sagnac-Interferometern mit  
Random-Modulation und geschlossenem, rückstellendem Regelkreis vertraut zu machen, sei auf die europä-  
ischen Patente EP 0 498 902 und EP 0 551 537 verwiesen.

Um die Auswirkung von Störeinkopplungen bei Fehlabstimmung erfassen zu können, genügt es, das Sagnac-  
Interferometer bei geöffneter Regelschleife zu betrachten (vgl. Fig. 1). Es sei T der Abtasttakt des Systems und  
gleichzeitig die Periode einer einkoppelnden Störspannung,  $T_0$  sei die davon abweichende Durchlaufzeit des  
Lichts,  $\varphi(t)$  sei die durch den Modulator hervorgebrachte Phasenmodulation und  $\varphi_s(t)$  sei die Sagnac-Phase.  
Unter Vernachlässigung von Gleichspannungskomponenten und Verstärkungsfaktoren im Detektorpfad gilt für  
35 das Ausgangssignal  $y(t)$  des Interferometers:

$$y(t) = \cos(\varphi(t) - \varphi(t - T_0) + \varphi_s(t)) \quad (1)$$

Nimmt man nun an, daß durch eine geeignete, im Takte T wirkende, dem Signal  $\varphi(t)$  überlagerte Modulations-  
spannung in bekannter Weise eine Aussteuerung an die Wendepunkte der Interferometerkennlinie vorgenom-  
men und das jeweils wirksame Vorzeichen der Steigung der Kennlinie durch ein ebenfalls im Takte T wirkendes  
Demodulatorsignal kompensiert wird, dann kann das Interferometer näherungsweise durch eine Kennlinie

$$y(t) = \sin(\varphi(t) - \varphi(t - T_0) + \varphi_s(t)) \quad (2)$$

ohne Modulations- und Demodulationssignale beschrieben werden. Die Näherung gilt strenggenommen nur für  
T =  $T_0$ . Für  $T \neq T_0$  treten in schmalen Übergangsbereichen zusätzliche Transienten auf, die in der obigen  
Gleichung nicht berücksichtigt sind. Da diese Transienten lediglich zu einer Erhöhung des Random-Walk  
beitragen, und um die Rechnung zu vereinfachen, sei die Gültigkeit von (2) auch für  $T \neq T_0$  unterstellt, sofern die  
Fehlabstimmung nicht zu groß ist. Eine weitere Vereinfachung ergibt sich durch Linearisierung der Sinusfunk-  
50 tion:

$$y(t) = \varphi(t) - \varphi(t - T_0) + \varphi_s(t) \quad (3)$$

Dieses Signal wird durch ein im Datenpfad angeordnetes Filter gefiltert und dann abgetastet, wobei sich der  
n-te Abtastwert  $y_n$  durch eine gewichtete Mittelung im Intervall  $[(n-1)T, nT]$  berechnet. Gewichtungsfunktion  
ist die an der Zeitachse gespiegelte Impulsantwort  $h(t)$  des Filters. Außerhalb des Intervalls entstehen keine  
Beiträge, selbst wenn die Impulsantwort dort nicht verschwindet, weil aufgrund der statistischen Modulation  
demodulierte Signalanteile außerhalb des genannten Intervalls unkorreliert sind. Damit ist

$$y_n = \int_0^T h(t) y(nT - t) dt \quad (4)$$

Die Funktion  $h[t]$  sei o.B.d.A. so normiert, daß

$$\int_0^T h(t) dt = 1 \quad (5)$$

gelte. Die gemittelte Drehrate ergibt sich aus

$$\bar{y} = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N y_n \quad (6)$$

Damit ist

$$\bar{y} = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N \left[ \int_0^T h(t) \varphi(nT-t) dt - \int_0^T h(t) \varphi(nT-T_0-t) dt + \int_0^T h(t) \varphi_s(nT-t) dt \right] \quad (7)$$

Bei hinreichend stationären Signalen ist die Mittelwertbildung über eine Folge  $x_n$  unabhängig von einer Indexverschiebung, d. h. es ist

$$\bar{x} = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N x_n = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N x_{n+1} \quad (8)$$

Damit kann im zweiten Integral von (7) der Index  $n$  durch  $n+1$  ersetzt werden. Es sei  $\Delta T = T_0 - T$  die Taktverstimmung. Dann wird

$$\bar{y} = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N \left[ \int_0^T h(t) (\varphi(nT-t) - \varphi(nT-\Delta T-t)) dt + \int_0^T h(t) \varphi_s(nT-t) dt \right] \quad (9)$$

Bei genügend kleinem  $\Delta T$  ist  $\varphi'(t)\Delta T \approx \varphi(t) - \varphi(t-\Delta T)$ . Mit dieser Näherung ergibt sich schließlich

$$\bar{y} = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N \int_0^T h(t) [\varphi'(nT-t)\Delta T + \varphi_s(nT-t)] dt \quad (10)$$

Es sei nun  $\varphi(t) = \varphi(t+nT)$  ein mit  $T$  periodisches Signal. Ferner sei  $\varphi_s(t) = \varphi_s = \text{const.}$  Dann ist

$$\bar{y} = \int_0^T h(t) \varphi'(-t) \Delta T dt + \varphi_s \quad (11)$$

Beispiel

Als Beispiel sei angenommen, daß  $h(t) = 2/T$  ist für  $t < T/2$  und  $h(t) = 0$  für  $t > T/2$ . Für  $\varphi(t)$  gelte im Bereich  $t \in [0, T)$   $\varphi(t) = \varphi_0$  für  $t \in [0, T/4) \vee t \in [3T/4, T)$  und  $\varphi(t) = -\varphi_0$  für  $t \in [T/4, 3T/4)$ . Außerhalb des Bereichs  $t \in [0, T)$  werde  $\varphi(t)$  gemäß  $\varphi(t) = \varphi(t+nT)$  periodisch fortgesetzt.

$$\bar{y} = \frac{2}{T} \Delta T \int_0^{T/2} \varphi'(-t) dt + \varphi_s = -\frac{2}{T} \Delta T [\varphi(-t)]_{t=0}^{T/2} + \varphi_s = -\frac{2\Delta T}{T} [\varphi(-T/2) - \varphi(0)] + \varphi_s = \frac{4\Delta T}{T} \varphi_0 + \varphi_s \quad (12)$$

Die gemessene Phase  $\bar{y}$  ist also der relativen Verstimmung  $\Delta T/T$  und der Amplitude der Einstreuung  $\varphi_0$  proportional. Nimmt man als relative Verstimmung 100 ppm ( $\Delta T/T = 10^{-4}$ ) und als Amplitude der Einstreuung  $\varphi_0 = 2\pi \cdot 10^{-2}$  an, dann ist bei einem Kreisel mit einer  $2\pi$ -Drehrate von 2000°/s der durch die Einstreuung

verursachte Bias-Fehler:

$$\Omega = \frac{2000^\circ \cdot 4 \cdot 3600}{h \cdot 10} = 28,8^\circ/h \quad (13)$$

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen elektrooptischen Phasenmodulator für faseroptische Interferometer, insbesondere für faseroptische Kreisel zu schaffen, bei dem die bisher beobachtete Empfindlichkeit gegenüber eingestreuten Störsignalen vollständig oder zumindest weitgehend beseitigt ist.

Ausgangspunkt für die Erfindung ist die Erkenntnis, daß die Empfindlichkeit von elektrooptischen Phasenmodulatoren der genannten Art sich theoretisch auf Null reduzieren läßt, wenn die Zeit des Arbeitstakts des Interferometers bzw. Kreisels mit der Umlaufzeit des Lichts vom ersten Phasenmodulator über die Faserspule bis zum gegenüberliegenden Phasenmodulator ins Übereinstimmung gebracht wird. Es wurde erkannt, daß es hierzu notwendig ist, Maßnahmen zu treffen, die sicherstellen, daß der Phasenmodulator in beiden Durchlaufrichtungen des Lichts die selbe Impulsantwort besitzt.

Die technische Lehre der Erfindung läßt sich damit für einen elektrooptischen Phasenmodulator mit integriertem optischem Wellenleiter und beidseitig in konstantem gegenseitigem Abstand von der optischen Achse entlang des Wellenleiters angeordneten Modulationselektroden dadurch kennzeichnen, daß die Elektroden so angeordnet sind, daß die raumzeitliche Ausbreitung der Potentiale auf den Elektroden und des elektrischen Felds zwischen den Elektroden eine symmetrisch verteilte Impulsantwort erzeugen.

Dieser Grundgedanke der Erfindung eignet sich sowohl für analoge als auch für digitale Phasenmodulatoren beim Einsatz in FOGs.

Für einen digitalen Phasenmodulator gilt dann als bevorzugte Ausführungsform, daß mehrere Paare parallel ansteuerbarer, hinsichtlich ihrer Längserstreckung binär abgestufte Elektroden mit einer zwischen diesen binär abgestuften Elektroden angeordneten Gegenelektrode vorgesehen werden, wobei jede Binärstufe aus zwei Teilelektroden besteht und die Symmetriepunkte aller Binärstufen übereinstimmen, derart, daß die komplette Elektrodenanordnung eine symmetrisch verteilte Impulsantwort erzeugt.

Im folgenden werden die Bedingungen abgeleitet und einzelne Bauformen für Phasenmodulatoren erläutert, die erfindungsgemäß in beiden Durchlaufrichtungen des Lichts dieselbe Impulsantwort liefern.

Bei den heute verwendeten Bauformen solcher Phasenmodulatoren auf integriert optischen Chips, besonders bei den digitalen Varianten (vgl. US 5 137 359), wird in der Regel die im folgenden abgeleitete Symmetriebedingung nicht erfüllt. Bei hochgenauen faseroptischen Meßeinrichtungen, insbesondere bei FOGs, ist damit der erforderliche Abgleich der Abtasttaktzeit an die Lichtdurchlaufzeit nicht möglich.

Es werden zunächst die Bedingungen für ein ideales modulierte Sagnac-Interferometer beschrieben: Beim idealen modulierten Sagnac-Interferometer ist die Auslesefunktion am Photodetektor nach der Demodulation unter Weglassung der Modulationssignale, unabhängig vom Modulationsverfahren wie oben bereits dargestellt:

$$y(t) = \alpha u(t) - \alpha u(t - T_0) + \varphi_s(t) \quad (14)$$

Dabei ist  $u(t)$  die am Phasenmodulator wirkende Rückstellspannung (bzw. Störspannung),  $\alpha$  der elektro-optische Übertragungsfaktor,  $\varphi_s(t)$  die Sagnac-Phase und  $T_0$  die Lichtdurchlaufzeit vom Mittelpunkt zum Mittelpunkt der Phasenmodulatoren durch die Spule des FOG. Im folgenden sei

$$u(t) = u(t + T) \quad (15)$$

eine mit dem Arbeitstakt  $T$  periodische Störspannung. Hiermit, und mit  $\varphi_s = 0$  wird

$$y(t) = \alpha(u(t) - u(t - T_0 + T)) \quad (16)$$

Bei idealer Abstimmung  $T = T_0$  wird als  $y(t) = 0$ .

Der Aufbau eines realen faseroptischen Interferometers ist in Fig. 1 der beigelegten Zeichnungen dargestellt.

Das von einer Lichtquelle  $D$  stammende Licht wird an einer Y-Verzweigung  $Y$  in zwei Teile aufgespalten, die dann die Modulatoren  $m_1$  und  $m_2$ , alsdann gegensinnig die Spule  $S$  und dann nochmals die beiden Modulatoren  $m_1, m_2$  durchlaufen. Die Lichtstrahlen werden unter einer gegenseitigen Phasenverschiebung

$$\varphi = \varphi_m + \varphi_s \quad (17)$$

wieder vereinigt, wobei  $\varphi_m$  die durch die Modulatoren erzeugte Phase und  $\varphi_s$  die Sagnac-Phase ist. Beide Modulatoren werden durch dieselbe Spannung  $u(t)$  angesteuert. Die Laufzeit des Lichts vom Mittelpunkt des Modulators  $m_1$  zum Mittelpunkt des Modulators  $m_2$  sei  $T_0$ . Dann ergibt sich für die Phase  $\varphi_m$  bei gegensinniger Polung der beiden Modulatoren:

$$\varphi_m = \alpha_1^+(t) \cdot u(t) + \alpha_2^+(t) \cdot u(t) - \alpha_1^-(t) \cdot u(t - T_0) - \alpha_2^-(t) \cdot u(t - T_0) \quad (18)$$

Hierbei ist  $\alpha_n^+(t)$  die elektrooptische Impulsantwort des Modulators  $m_n$  ( $n = 1, 2$ ) in der Durchlaufrichtung von rechts nach links, während  $\alpha_n^-(t)$  die elektrooptische Impulsantwort der Modulatoren für die Durchlauf-

richtung von links nach rechts ist. Der Stern \* kennzeichnet die Faltung:

$$\alpha(t) * u(t) = \int \alpha(\tau) u(t - \tau) d\tau \quad (19)$$

Falls nun das Interferometer mit  $T = T_0$  betrieben und mit einer in T periodischen Spannung  $u(t)$  beaufschlagt wird, ergibt sich

$$y(t) = (\alpha_1^+(t) + \alpha_2^+(t) - \alpha_1^-(t) - \alpha_2^-(t)) * u(t) \quad (20)$$

Die Erfindung und vorteilhafte Einzelheiten werden nachfolgend unter Bezug auf die Zeichnung in weiteren Einzelheiten erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 den bereits oben kurz erläuterten prinzipiellen Aufbau eines realen Sagnac-Interferometers;

Fig. 2 einen elektrooptischen Phasenmodulator, erfindungsgemäß als System mit verteilter Impulsantwort;

Fig. 3 in schematischer Darstellung die Elektrodenanordnung für eine grundsätzliche Lösungsvariante eines elektrooptischen digitalen Phasenmodulators mit optimiert verteilter Impulsantwort gemäß der Erfindung;

Fig. 4 eine andere grundsätzliche Ausführungsform einer Elektrodenanordnung für einen digitalen Phasenmodulator, der hinsichtlich der raumzeitlichen Ausbreitung angelegter Potentiale den Symmetrieanforderungen gemäß der Erfindung entspricht; und

Fig. 5A, B in schematischer Darstellung die Elektrodenanordnung analoger Phasenmodulatoren gemäß der Erfindung, wobei Fig. 5A eine spiegelsymmetrische und Fig. 5B eine punktsymmetrische Elektrodenanordnung veranschaulichen.

Phasenmodulatoren, die der Erfindung entsprechen, seien prinzipiell wie in Fig. 2 dargestellt aufgebaut. Der optisch aktive Bereich, gekennzeichnet durch das dargestellte Rechteck R, verlaufe entlang der sich von rechts nach links erstreckenden x-Achse, wobei seine Ausdehnung durch das Intervall  $[-x_0, x_0]$  begrenzt sei. Die Steuerspannung  $u(t)$  kopple nun mit einer von x abhängigen Impulsantwort  $h(x, t)$  in jeden Punkt des aktiven Bereichs ein und erzeuge dort eine inkrementelle Phasenverschiebung. Wenn nun v die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts im aktiven Bereich sei, werden die elektrooptischen Impulsantworten:

$$\alpha_n^+(t) = \int_{-x_0}^{x_0} h_n(x, t - \frac{x}{v}) dx \quad (21)$$

und

$$\alpha_n^-(t) = \int_{-x_0}^{x_0} h_n(-x, t - \frac{x}{v}) dx \quad (22)$$

Das Ziel ist,  $y(t)$  in (20) zu Null zu machen. Hierfür gibt es gemäß der Erfindung zwei Möglichkeiten. Im ersten Fall wählt man

$$\alpha_n^+ = \alpha_n^- \quad (23)$$

Das wird gemäß (21) und (22) erfüllt für

$$h_n(x, t) = h_n(-x, t) \quad (24)$$

Die zweite Möglichkeit führt zu

$$\alpha_1^+ = \alpha_2^- \quad (25)$$

Daraus folgt

$$h_1(x, t) = h_2(-x, t) \quad (26)$$

wodurch automatisch auch

$$h_2(x, t) = h_1(-x, t) \quad (27)$$

und damit

$$\alpha_2^+ = \alpha_1^- \quad (28)$$

erfüllt wird. Daraus folgt schließlich  $y(t) = 0$ .

Die Symmetrieanforderungen für ein Elektroden-Layout, das die Bedingungen der Erfindung erfüllt, wird

nachfolgend erläutert:

Der Phasenmodulator der erfindungsgemäßen Art, insbesondere für einen faseroptischen Kreisel, kann als integrierter optischer Baustein (Chip) hergestellt sein, wobei ein optischer Wellenleiter in ein geeignetes Material, insbesondere  $\text{LiNbO}_3$  oder  $\text{LiTaO}_3$ , eindiffundiert wird. Dieser Wellenleiter hat einen optischen Brechungsindex, der von einem angelegten elektrischen Feld abhängig ist. Das notwendige elektrische Feld wird durch die auf der Oberfläche des Bausteins parallel zum Wellenleiter angeordneten Elektroden erzeugt.

Ein dem oben erläuterten ersten Fall (Gleichung (23)) entsprechende Elektrodenanordnung zeigt Fig. 3 für einen aktiven Kanal 1 des symmetrisch aufgebauten Paares von Phasenmodulatoren  $m_1$  oder  $m_2$ . Mit 2 sind Elektrodenanschlüsse für die binär ansteuerbaren Elektroden des digitalen Modulators bezeichnet. Bezugshinweis 4 kennzeichnet eine beiden Modulatoren  $m_1, m_2$  gemeinsam zugeordnete Gegenelektrode.

Die verteilte Impulsantwort  $h(x, t)$  ist demnach von der raumzeitlichen Verteilung des erzeugten elektrischen Felds abhängig. Die im vorangegangenen Abschnitt hergeleiteten Symmetrieforderungen für die verteilten Impulsantworten  $h_n(x, t)$  können erfüllt werden durch symmetrische Elektrodenanordnungen auf dem Phasenmodulator, wobei auch die raumzeitliche Ausbreitung der Potentiale auf den Elektroden den Symmetrieforderungen genügen muß. Dies gilt sowohl für digitale (Fig. 3 und 4) als auch für analoge Modulatoren (Fig. 5A, B).

Bei digitalen Modulatoren (vgl. Fig. 3) wird für jede Bitwertigkeit eine eigene Elektrodenanordnung vorgesehen, wobei die Gewichtungen durch entsprechende Flächenverhältnisse realisiert werden. Die Symmetriebedingungen müssen für jedes einzelne Bit erfüllt werden, wobei die Symmetriepunkte aller Bits übereinstimmen müssen, so daß letzten Endes die Symmetriebedingung für die komplette Elektrodenanordnung erfüllt ist.

Für die beiden genannten Lösungsfälle ergeben sich für digitale Modulatoren demnach die folgenden Anordnungen:

Im ersten Fall müssen die Modulatoren ein zur Achse  $x = 0$  spiegelsymmetrisches Elektroden-Layout besitzen, so daß auch eine zu dieser Achse raumzeitlich symmetrische Ausbreitung garantiert ist. Daraus ergibt sich für einen digitalen Modulator beispielsweise das in Fig. 3 gezeigte Layout. Der optische Wellenleiter ist durch den in der Mitte zwischen den Elektroden verlaufenden Pfeil (aktiver Kanal 1) dargestellt. Gezeigt ist nur einer der beiden Modulatoren, der andere muß entsprechend ausgeführt sein.

Der zweite Fall führt zu einem Elektroden-Layout, bei dem die Elektrodengeometrien der beiden Modulatoren durch Drehung um  $180^\circ$  auseinander hervorgehen. Fig. 4 zeigt die Prinzipdarstellung eines solchen Elektroden-Layouts. In der Prinzipdarstellung ist mit 10 der aktive Kanal des Modulators  $m_1$ , mit 11 der aktive Kanal des Modulators  $m_2$ , mit 12 die gemeinsame Gegenelektrode, mit 13 das binäre Elektroden-Array des Modulators  $m_1$  und mit 14 das in seiner Anordnung um  $180^\circ$  gedrehte binäre Elektroden-Array des Modulators  $m_2$  bezeichnet.

Die entsprechenden Verhältnisse für die spiegelsymmetrische bzw. die punktsymmetrische Gestaltung des Elektroden-Layouts für analoge Phasenmodulatoren erfindungsgemäßer Art sind für den Fachmann aus den Fig. 5A bzw. 5B unmittelbar erkennbar.

Aufgrund der Erfindung lassen sich mindestens zwei Arten von Elektroden-Layouts für Sagnac-Interferometer, und zwar sowohl von analogen wie auch von digitalen Phasenmodulatoren, so realisieren, daß bei idealer Arbeitstaktabstimmung der Einfluß von periodischen Störsignalen zuverlässig unterdrückt wird.

#### Patentansprüche

1. Elektrooptischer Phasenmodulator mit integriert optischem Wellenleiter und beidseitig in konstantem gegenseitigem Abstand von der optischen Achse entlang des Wellenleiters angeordneten Modulationselektroden, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (2; 13, 14) so angeordnet sind, daß die raumzeitliche Ausbreitung der Potentiale auf den Elektroden und des elektrischen Felds zwischen den Elektroden eine symmetrisch verteilte Impulsantwort erzeugt.
2. Elektrooptischer Phasenmodulator nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch mehrere Paare parallel ansteuerbarer, hinsichtlich ihrer Flächenverhältnisse binär abgestufter Elektroden und eine zwischen diesen binär abgestuften Elektroden angeordnete Gegenelektrode, wobei jede Binärstufe aus zwei Teilelektroden besteht und die Symmetriepunkte aller Binärstufen übereinstimmen, derart, daß die komplette Elektrodenanordnung eine symmetrisch verteilte Impulsantwort erzeugt.
3. Anordnung mit mindestens einem elektrooptischen Phasenmodulator nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Phasenmodulatoren zusammen mit einer Y-Verzweigung in einem IO-Chip integriert sind.
4. Anordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Anordnung der Modulationselektroden des einen Phasenmodulators ( $m_1$ ) gegenüber der Anordnung der Modulationselektroden des anderen Phasenmodulators ( $m_2$ ) um  $180^\circ$  gedreht ist.
5. Anordnung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich ein Polarisator im IO-Chip integriert ist.
6. Anordnung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Polarisator durch Protonenaustauschtechnik zusammen mit dem integrierten Wellenleiter in einem  $\text{LiNbO}_3$ - oder  $\text{LiTaO}_3$ -Substrat erzeugt worden ist.
7. Verwendung eines elektrooptischen Phasenmodulators nach Anspruch 1 oder 2 oder einer Anordnung nach einem der Ansprüche 3 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß dieser oder diese Teil(e) des optischen Aufbaus eines faseroptischen Sagnac-Interferometers ist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

FIG. 1

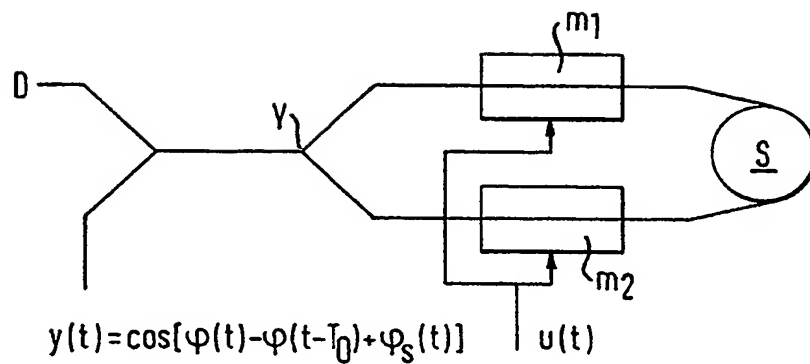
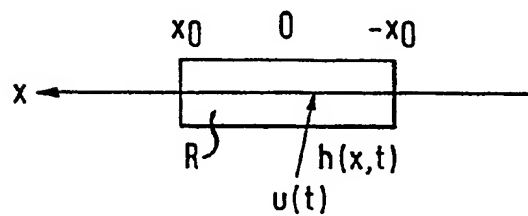


FIG. 2





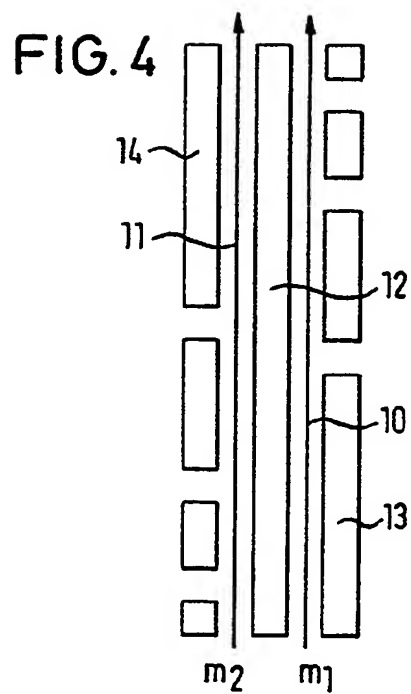
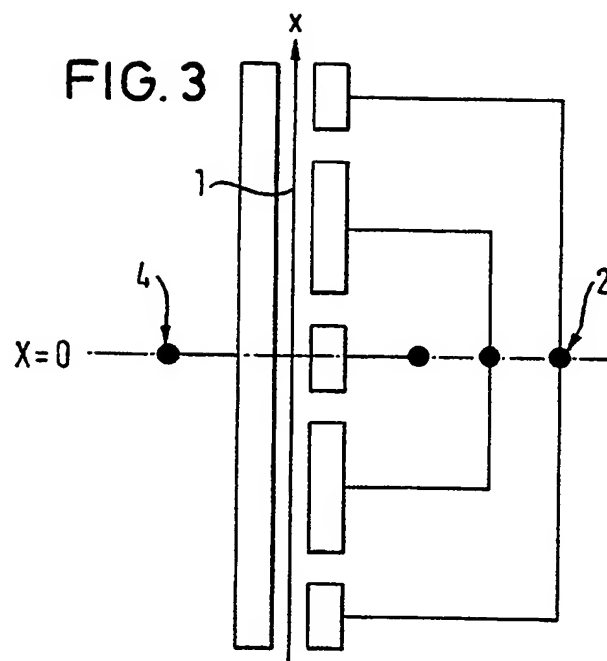


FIG. 5A

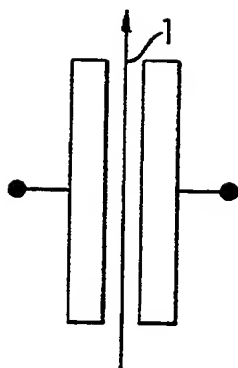
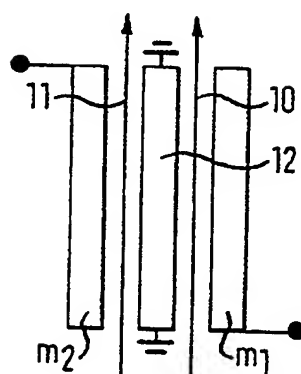


FIG. 5B



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☒ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☒ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**